

L'émail

I) Généralités

L'émail, qui recouvre la couronne des dents, est une **structure** (≠ tissu car acellulaire) avasculaire et non innervé.

L'émail est la structure la plus minéralisée du corps :

- 96% de minéraux
- 3,2% d'eau
- 0,8% de protéines

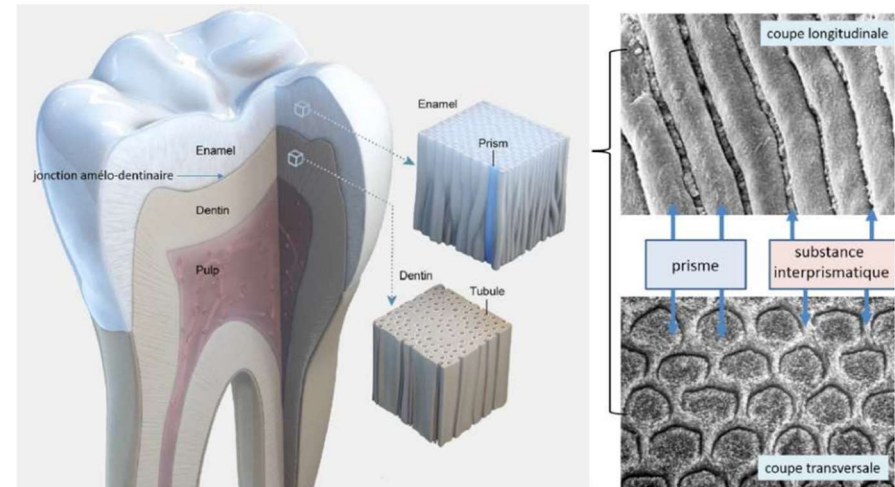


L'émail n'est pas une structure inerte : des échanges ioniques entre l'émail et la salive sont responsables de phénomènes de déminéralisation et de reminéralisation des couches superficielles de l'émail.

L'épaisseur de l'émail varie en fonction de sa localisation :

- Jusqu'à 2,5 mm au niveau des cuspides
- Diminue progressivement au niveau des collets où elle se termine par quelques microns
- Très réduite dans le fond des sillons

On peut voir sur cette radio que l'émail apparaît **plus** blanc/radio opaque que la dentine, la dentine est moins minéralisée que l'émail donc **moins** blanc/radio opaque. On note aussi que la pulpe n'est pas du tout minéralisée.



Au niveau microscopique, on observe que l'émail est organisé en **prisme** et **substance interprismatique (SIP)** +++

Sur une coupe longitudinale, les prismes de l'émail sont des sortes de tubes minéralisés qui parcourent l'émail de la jonction amélo-

dentinaire à la surface de la dent et sont entourés de substance inter prismatique.

Puis sur une coupe transversale on voit que les prismes ont une section hexagonale.

L'émail est donc organisé en **prisme** et **SIP** qui sont tous les deux composés de **cristaux ou cristallites apatites carbonatées formée d'hydroxyapatites polysubstituée**.

La maille élémentaire de l'émail est l'hydroxyapatite qui a pour formule $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ mais elle est souvent polysubstituée, c'est-à-dire que le radical hydroxyle (OH) est souvent substitué par du carbonate ou également par des ions fluor (que l'on retrouve dans le dentifrice peuvent substituer un ion phosphate pour créer des fluorures de calcium, ces derniers ont une résistance accrue à l'attaque acide lors de la formation des caries).

II) L'amélogénèse

L'émail est d'origine **ectodermique** car les améloblastes sont issues de la différenciation des cellules de l'épithélium dentaire interne (EDI) de l'organe de l'émail.

L'émail se forme uniquement au stade de la couronne et lorsque la formation de l'émail d'une dent est terminée, débute alors le stade de la racine. Pour chaque dent, l'émail se forme **pendant un laps de**

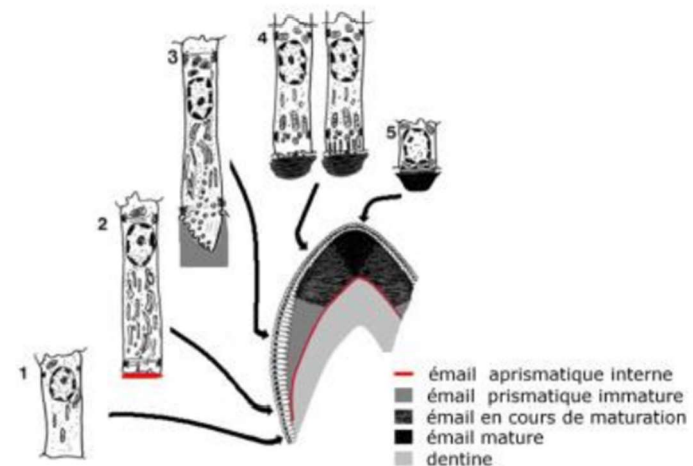
temps donné (uniquement pendant l'amélogénèse, une fois finit il n'y aura plus jamais formation d'émail).

L'amélogénèse est la formation de l'émail par l'améloblaste. Elle comprend :

1. **Synthèse** et la **sécrétion** des molécules de la matrice de l'émail
2. **Minéralisation**
3. **Maturation** de l'émail.

L'ordre des étapes est à retenir ++++

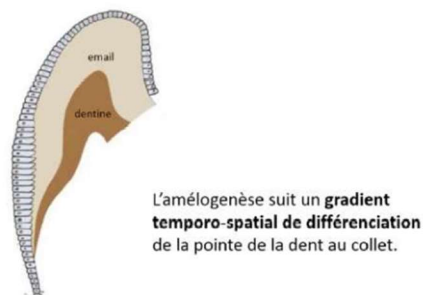
Ces étapes de formation de l'émail sont réalisées par les améloblastes qui vont passer successivement par différentes phases fonctionnelles.



La formation de la dent commence au niveau de la pointe d'une cuspide et se termine au collet de la dent.

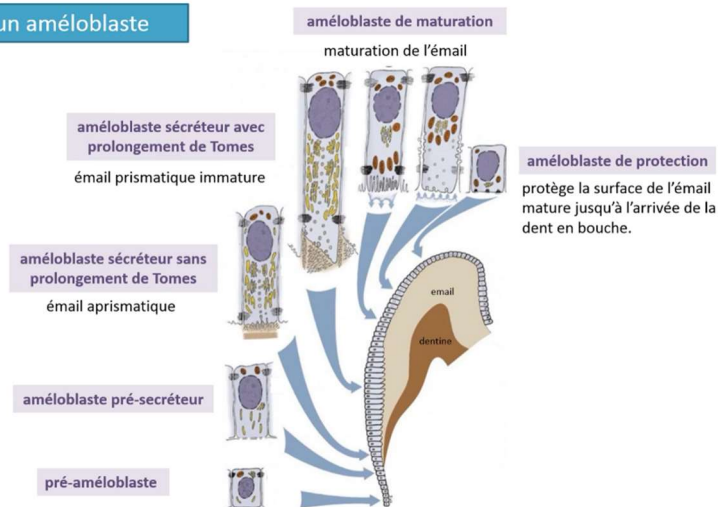
L'amélogénèse suit donc **un gradient temporo-spatial** de différenciation de la cuspide au collet de la dent (jonction entre la couronne et la racine).

En effet sur ce schéma on observe que L'amélogénèse est terminée en regard de la cuspide tandis qu'elle n'est pas commencée au niveau du collet de la dent.



Cette représentation schématique nous permet de décrire les différentes phases de vie d'un améloblaste :

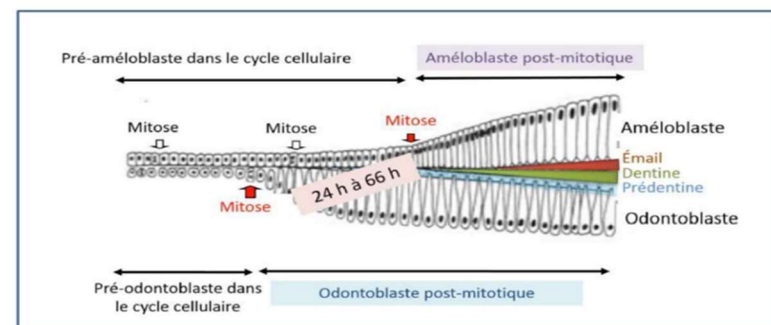
Phases de la vie d'un améloblaste



A) Améloblaste pré-sécréteur

Les pré-améloblastes sont issus de l'épithélium dentaire interne (EDI), ils sont séparés des pré-odontoblastes par une membrane basale.

Le pré-améloblaste sort du cycle mitotique et évolue donc en une cellule post-mitotique (qui ne se divise plus). Cette sortie du cycle est couplée avec celle des odontoblastes avec un décalage dans le temps de 24-66h après les odontoblastes.



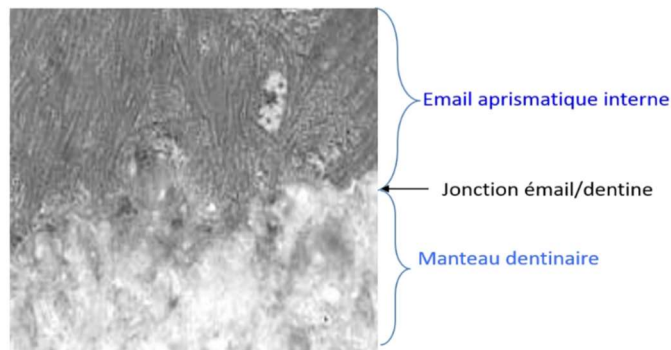
Il devient alors un améloblaste pré-sécréteur.

B) Améloblaste sécréteur sans prolongement de Tomes

L'élément déclencheur est la **dégradation de la MB par les odontoblastes** qui ont commencé à produire la première couche de dentine = manteau dentinaire.

La destruction de la MB permet donc aux améloblastes pré sécréteurs d'entrer en contact avec le manteau dentinaire ce qui induit l'amélogénèse.

L'améloblaste sécréteur sans pdt est responsable de la sécrétion d'**émail aprismatique** : il va produire une première couche de matrice directement au contact du manteau dentinaire, il s'agit de l'émail aprismatique interne d'une épaisseur d'environ 10um.



Jonction émail dentine observée en MET

Dans cet émail aprismatique les cristaux n'ont pas d'orientation particulière.

c) Améloblaste sécréteur avec prolongement de Tomes

L'améloblaste sécréteur sans prolongement de tomes évolue en améloblaste sécréteur avec prolongement de tomes responsable d'une production d'**émail prismatique immature**.

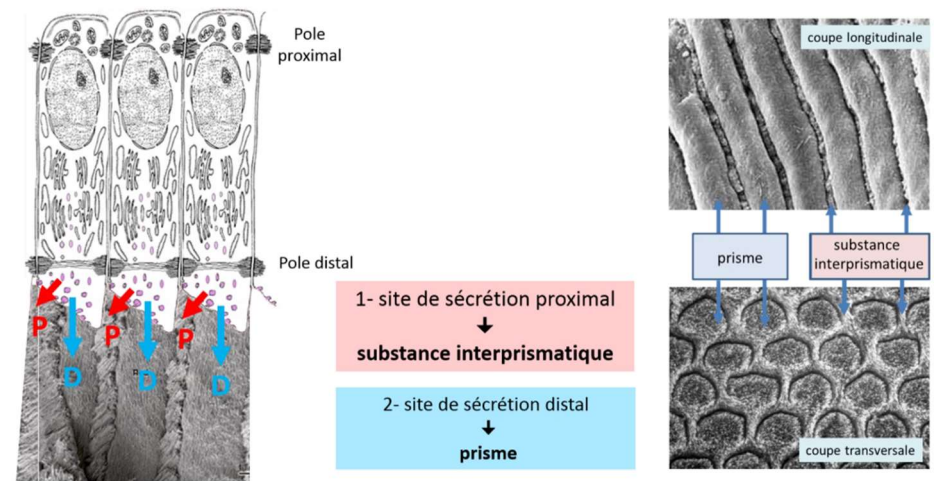
Dès que l'émail aprismatique interne est déposé, les améloblastes forment à leur pôle distal un prolongement de forme conique appelé prolongement de tomes comportant 2 sites de sécrétion distincts :

- **Proximale : Substance Inter Prismatique (SIP)**
- **Distale : Un prisme**

Les 2 sites de sécrétion **sécrètent les mêmes protéines** +++

Les améloblastes forment un tapis cellulaire : plusieurs améloblastes sont responsables de la synthèse de la SIP.

Chaque prisme est ainsi sécrété par un améloblaste unique à partir de l'émail aprismatique interne au niveau de la jonction amélo-dentinaire jusqu'à la surface de l'émail +++



Chaque prisme traverse donc toute l'épaisseur de l'émail.

Le prolongement de tomes permet la sécrétion des prismes et de la SIP créant ainsi l'émail prismatique.

Le rythme de l'amélogénèse est d'environ de **4um/jour** avec des phases de synthèse active et des phases de repos.

Les 2 sites de sécrétion **sécrètent les mêmes protéines.**

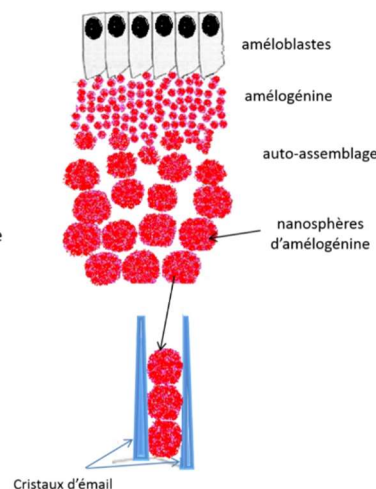
Immédiatement après leur sécrétion, ces protéines ont la capacité d'initier la formation de cristaux : la nucléation cristalline et de contrôler la forme et la croissance de ces cristaux.

On retrouve : amélogénine, tuftéline, énaméline, améloblastine, protéases (MMP20), ect.

Les amélogénines

Les amélogénines s'auto-assemblent pour former des agrégats sphériques de 15-20 nanomètres de diamètre comportant de 100 à 200 molécules d'amélogénines = **nanosphères d'amélogénine.**

- se lie à l'hydroxyapatite
- espace entre deux cristaux .. 20 nm = au diamètre d'une nanosphère
- les nanosphères contrôlent l'orientation des cristaux
- les nanosphères empêchent une fusion latérale des cristaux, les maintiennent à une distance uniforme et leur confèrent une disposition régulière dans l'émail



D) Améloblaste de transition

A la fin du stade de sécrétion l'améloblaste a sécrété une épaisseur suffisante d'émail immature et 25% des améloblaste va disparaître par apoptose.

Les améloblastes restant synthétisent plus des protéines de la matrice de l'émail mais une sorte de lame basale qui adhère à la surface de l'émail immature.

E) Améloblaste de maturation

C'est la phase de croissance en épaisseur et en largeur des cristaux d'émail.

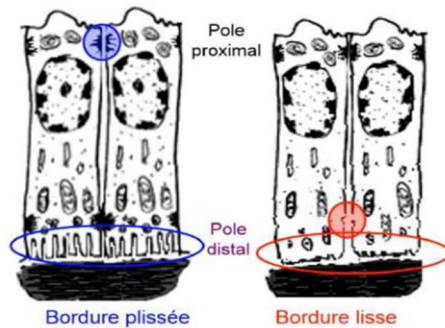
Deux processus s'effectuent simultanément :

- 1° L'élimination des nanosphères d'amélogénine qui limitaient la croissance en épaisseur et en largeur des cristaux
- 2° Arrivée massive de calcium et de phosphate dans l'émail pour permettre cette croissance.

Ils vont présenter à leur pôle distal deux aspects morphologiques différents : **lisse** ou **plissé**. Il y a un couplage entre l'aspect du pôle distal et les systèmes de jonctions entre les améloblastes.

L'émail mature ne contient presque plus de protéines, ni d'eau : 96% de cristaux, 3,2% d'eau et 0,8% de matière organique.

Faut apprendre par cœur la description des amélogénines si dessus !



Aspect plissé :

- Que des systèmes de jonction **distaux serrés** (étanches)
- Que des systèmes de jonction **proximaux lâches** (perméables)

Aspect lisse :

- Que des systèmes de jonction **distaux lâches**
- Que des systèmes de jonction **proximaux serrés**

Les améloblastes de maturation effectuent une modulation, ils créent de façon cyclique une bordure plissée puis lisse à leur pôle distal.

Pendant la phase de maturation, chaque améloblaste passera d'un pôle distal lisse à plissé 5-7 fois mais 80% de son temps sera à l'état plissé (20% à l'état lisse).

Cette alternance de l'aspect cellulaire aurait pour rôle :

- une balance entre l'acidification et la neutralisation du pH de l'émail
- une élimination des fragments protéiques
- Transport du calcium pour permettre le transport des cristaux

Pourquoi vouloir acidifier le milieu alors que l'on sait que les cristaux se dissolvent dans un milieu acide ?

Pour que les cristaux croissent en épaisseur, il faut une acidification du milieu (même si les cristaux se dissolvent mieux dans un milieu acide) car cette croissance ne peut se faire que si les nanosphères d'amélogénines sont éliminées par la MMP20 (produite en grande quantité pendant la phase de maturation), or, les conditions optimales de **la MMP20 nécessitent un pH légèrement acide**.

Donc les améloblastes sécrètent la MMP20 et la sérine-protéase 17 (= Kallikréine 4 ou sérine protéase) et en même temps, les améloblastes présentent dans la région du cytoplasme proche de la **bordure plissée** une quantité importante d'**anhydrase carbonique de type II** qui libère des protons acidifiant le milieu extracellulaire.

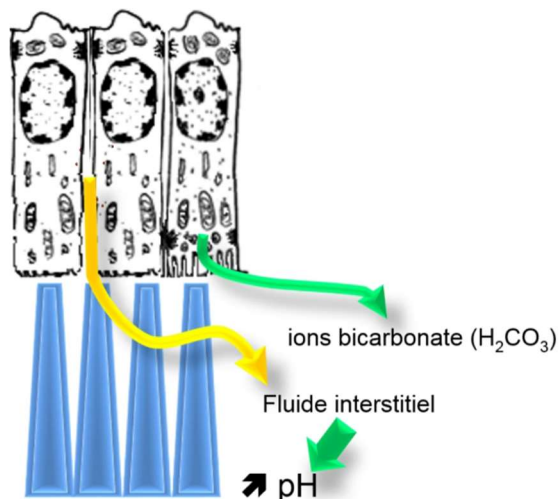
La MMP20 devient active et entraîne la fragmentation des nanosphères d'amélogénines :

- **bordure plissée** : sont résorbés activement par endocytose.
- **bordure lisse** : quittent l'émail et passent entre les cellules pour être absorbés sur les côtés de ces améloblastes.

La dégradation protéique est alors terminée par les améloblastes (bordure lisse ou plissée) qui contiennent beaucoup de lysosomes. L'élimination rapide des agrégats d'amélogénine libère les cristaux mais ceux-ci ne pourront croître en épaisseur et en largeur que lorsque le pH sera neutralisé.

La neutralisation du pH est aussi due aux améloblastes de maturation, en effet :

- **bordure plissée** : sécrétion d'ions bicarbonate (H_2CO_3).
- **bordure lisse** : passage des fluides interstitiels vers l'émail.



Pour permettre la croissance en épaisseur et en largeur des cristaux, il faut une arrivée massive d'ions calcium dans la matrice amélaire provenant des milieux interstitiels (circulation sanguine du FD).

Le calcium passe entre les cellules à **bordure lisse** (jonctions distales perméables : **transport passif**).

Les améloblastes à **bordure plissée** participent **activement** au transport du calcium malgré leur bordure imperméable, en effet, ils possèdent des protéines qui fixent le calcium dans la cellule (**calbindine** et **annexine**).

Grâce aux **calcium-ATPases** membranaires, les ions calcium vont sortir de la cellule et être incorporés dans la matrice de l'émail en cours de maturation.

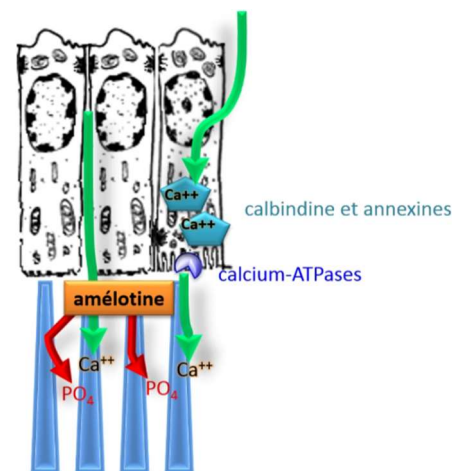
L'énergie nécessaire au fonctionnement de ces enzymes est apportée par les nombreuses mitochondries présentes dans le cytoplasme proche de la bordure plissée.

Pour permettre la croissance des cristaux, les ions calcium doivent s'associer dans le compartiment extracellulaire avec les ions phosphate.

Ces ions sont libérés à partir de phosphoprotéines : l'**amélotine** (synthétisée par l'améloblaste spécifiquement au stade de maturation).

On ne sait pas si l'amélotine est sécrétée par les améloblastes à bordure lisse ou plissée et son rôle exact est mal connu.

Les ions phosphates sont libérés grâce à la présence de phosphatases dans la matrice de l'émail.



A gauche on voit le Ca^{2+} passer entre deux cellules à aspect lisse (transport passif) alors qu'à droite on voit le Ca^{2+} passer de façon active grâce aux protéines et la calcium-ATPase.

L'apport d'ions calcium et phosphate en quantité suffisante va permettre la croissance en largeur et en épaisseur des cristaux.

La maturation permet la croissance des cristaux :

- épaisseur : 3,1 nm \Rightarrow 29 nm
- largeur : 25nm \Rightarrow 65 nm

L'émail mature ne contient presque plus de protéines, ni d'eau (réabsorbée par les améloblastes à bordure lisse) : **96%** de cristaux, **3,2%** d'eau et **0,8%** de matière organique

F) Améloblaste de protection

Enfin, l'améloblaste de maturation se transforme en améloblaste de protection ayant pour rôle de protéger la surface de l'émail mature jusqu'à l'arrivée de la dent en bouche.

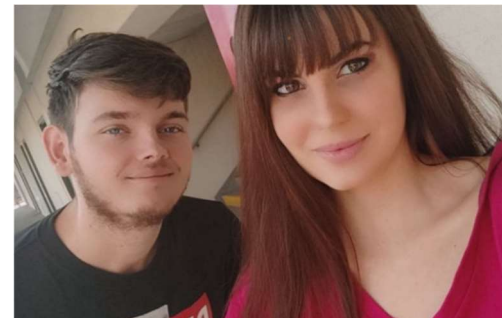
Nous venons de voir que l'améloblaste est une cellule exceptionnelle mais c'est aussi une cellule très susceptible aux changements de son environnement.



Par exemple un excès de fluor pendant l'amélogénèse provoque des perturbations de la fonction des améloblastes qui forment un émail altéré \Rightarrow fluorose.

A la clique des 6, vous me faites délirer chaque jour !!

Et à mes petites fillotes, je vous attends en P2



Dédi à ma titouf, i love you